

# El potencial paleolimnològic de les valves d'ostràcodes a s'Albufera des Grau

Biel Obrador Sala

Universitat de Barcelona

Recepció \*\*\*data | Acceptació \*\*\*data

**Resum:** S'ha avaluat el potencial de les valves d'ostràcodes com a eina per a una reconstrucció paleolimnològica de s'Albufera des Grau. L'espècie eurihalina *Cyprideis torosa* es reproduïx durant tot l'any, generant un registre continu de les condicions de la llacuna. Les seves valves es troben per damunt del pes mínim requerit per a les anàlitiqes geoquímiques habituals en paleolimnologia. S'ha observat una clara relació entre la mida de la valva i la salinitat de l'aigua, la qual cosa obre les portes a l'ús d'aquest caràcter com a eina de reconstrucció del règim de salinitat de la llacuna en el passat.

**Paraules clau:** Paleolimnologia, ostràcodes, salinitat, *Cyprideis torosa*, llacunes costaneres

**Abstract:** In this study we evaluated the potential of ostracod valves to be used as a paleoenvironmental proxy in the Albufera des Grau. During the three studied years, the eurihaline species *Cyprideis torosa* reproduced all year round. The adult valves were always above the required weight for standard single-valve geochemical analyses of common use in paleolimnological studies. A marked inverse relationship between shell length and water salinity was observed, encouraging the use of such ecophenotypic character as a salinity proxy in the lagoon.

**Keywords:** Paleolimnology, ostracods, salinity, *Cyprideis torosa*, coastal lagoons

## Introducció

S'Albufera des Grau constitueix la major zona humida de l'illa de Menorca, amb un innegable valor paisatgístic i un important paper sobre la biodiversitat de l'illa. Bona part del seus valors ecològics estan relacionats amb la presència de vegetació submergida, que aporta lloc de cria, protecció i aliment a un elevat nombre d'aus aquàtiques i té un paper fonamental en el funcionament ecològic de la llacuna (Obrador et al. 2007; Obrador 2009b; Obrador & Pretus 2012; Obrador & Pretus

2013). En llacunes costaneres com s'Albufera, la dinàmica de la vegetació submergida està principalment controlada per la disponibilitat de llum, el nivell de l'aigua i la salinitat (Obrador & Pretus 2010). No obstant això, encara no es comprenen en detall els mecanismes responsables dels anomenats canvis d'estat, que poden menar a la desaparició sobtada de la vegetació submergida amb greus conseqüències funcionals sobre aquests ecosistemes. De fet, en llacunes costaneres, els productors primaris dominants en els diferents estats estables alternatius no estan ni bon tros tan definits com en llacs d'aigua dolça (Scheffer et al. 1993; Knoppers 1994; Trobajo et al. 2002; Viaroli et al. 2008). Aquest desconeixement està segurament relacionat amb l'elevada variabilitat d'aquests sistemes, que en dificulta la comprensió dels processos a partir de les escasses sèries temporals de llarga durada que hi ha disponibles. L'obtenció de sèries temporals llargues és, doncs, fonamental per a la comprensió del seu funcionament i de retruc, evidentment, per a poder definir polítiques de gestió i conservació adequades.

En aquest punt, la paleoecologia pot tenir molt a dir, ja que permet la reconstrucció de l'estat ecològic del sistema en una escala d'observació suficientment ampla. L'aproximació paleoecològica en sistemes aquàtics es basa en l'anàlisi del registre sedimentari mitjançant variables —*proxies*— informatives de determinats aspectes limnològics del sistema. Idealment, hom voldria disposar d'una variable de fàcil mesura que estigués inequívocament relacionada amb la variable d'interès, en el nostre cas, l'abundància de vegetació submergida. Sovint, però, la interpretació del registre sedimentari és complexa i requereix l'ús simultani de múltiples variables prèviament calibrades, idealment al mateix sistema. El calibrat de les proxies limnològiques —és a dir la relació dels processos que en determinen la seva variabilitat— és, doncs, fonamental per a una correcta aproximació paleolimnològica.

És en aquest context que se situa el present treball, adreçat a la cerca d'una senyal paleolimnològica a s'Albufera des Grau que permeti la reconstrucció de la vegetació i de les principals variables ambientals, en especial la salinitat. La llacuna és una localitat adequada per estudis paleolimnològics perquè té un registre sedimentari ben estructurat i ja

datat (Pretus i Obrador, dades inèdites) i perquè es disposa d'un coneixement molt elevat del seu funcionament limnològic actual (Obrador 2009a). Aquest treball s'ubica en el marc d'entendre quina és la informació proporcionada per les valves d'ostràcodes, uns microcrustacis les valves carbonatades dels quals romanen en el registre sedimentari durant mil·lenis (Holmes 2001). En primer lloc, la identificació de la comunitat d'ostràcodes a partir de les valves trobades permet inferir, en base a l'autoecologia de cada espècie, els rangs de salinitat i d'altres variables ambientals, tal i com ja s'ha fet a s'Albufera (González i Pretus 2003). En segon lloc, alguns caràcters ecofenotípics, com la presència de nodes, la forma des porus o el tipus de reticulat de les valves, es poden relacionar amb determinades variables ambientals (Holmes 2001). En tercer lloc, i aquí és on els ostràcodes tenen el seu major potencial específic, la geoquímica del carbonat de les valves permet reconstruir quantitativament les condicions químiques de l'aigua en el moment de la seva precipitació (Holmes i Chivas 2002). En aquest treball s'aborda el primer pas del calibrat geoquímic de les valves, estudiant la qualitat del registre actual d'ostràcodes. Dit d'altra manera, es monitoritza durant un temps suficientment llarg la comunitat d'ostràcodes alhora que es controlen les variables funcionals bàsiques del sistema. L'objectiu és avaluar la continuïtat i qualitat del registre i caracteritzar la seva variabilitat com a pas previ al calibrat geoquímic. Complementàriament també s'explora el potencial morfològic de les valves com a *proxy* ecofenotípica de salinitat a la llacuna.

## Material i mètodes

Durant els anys 2002 a 2004, es van recollir mensualment mostres bentòniques a la zona profunda de la llacuna mitjançant draga Ekman. Les mostres, tamisades per 50 µm i conservades a -18 °C fins a llur processat, van ser analitzades i processades sota lupa binocular. Els ostràcodes vius (definitos com aquells que mostraven teixits i apèndixs complets a l'interior) van ser identificats, comptats i sexats, i es va anotar el seu estadi de desenvolupament, anotant en el cas de femelles ova-

des, el número d'ous a la cambra ovàrica. La identificació a nivell d'espècie es va fer seguint Athersuch et al. (1989). Es va comptar el total d'individus de cada mostra, que en mitjana va ser de 165 individus per mostra (entre 45 i 1070 individus per mostra). Es va seleccionar com a espècie de treball l'espècie eurihalina *Cyprideis torosa*, freqüentment utilitzada en paleolimnologia per la seva àmplia distribució i tolerància a canvis de salinitat (Anadón et al. 2002). Els individus adults de *C. torosa* van ser disseccionats, i les seves valves netejades manualment en aigua desionitzada de qualitat MilliQ. Després d'un segon rentat en aigua desionitzada, les valves van ser assecades a temperatura ambient. Ambdues valves de cada individu van ser mesurades i pesades per tal de tenir un control per a la posterior anàlisi geoquímica dels seus carbonats. Un total d'entre 5 i 7 individus de cada mostra van ser seleccionats en base al seu estat de conservació, rebutjant aquells individus les valves dels quals mostraven sobre o subcalcificacions o signes de degradació o alteració (engruiximent, valves primes o foradades), o els teixits dels quals estaven en descomposició o incomplets (Keatings et al. 2002). Aquesta criba s'adreça a assegurar que els individus assignats a cada mostra corresponguin temporalment a individus vius en el moment del mostreig i sense alteracions en la calcificació.

## Resultats i discussió

### *Continuïtat del registre*

Les mostres bentòniques han estat dominades per *Cyprideis torosa*, *Loxoconcha elliptica* i *Potamocypris steueri* (fig. 1), amb presència ocasional d'*Heterocypris salina* i *Xestoleberis nitida*. *C. torosa* ha estat dominant durant l'hivern-tardor de 2003 i durant bona part del 2004, mentre que al 2002 i a l'estiu de 2003 han dominat *L. elliptica* i *P. steueri*, respectivament. És probable que la dominància relativa d'aquestes tres espècies estigui relacionada amb els nivells de salinitat de la llacuna i amb l'oscil·lació estacional de la temperatura, tot i que la metodologia emprada en aquest estudi, adreçada a la variabilitat geoquímica de *C. to-*

*rosa*, no permet extreure conclusions robustes sobre la dinàmica de la comunitat en termes quantitativs. Sigui com sigui, queda clar que la comunitat d'ostràcodes de s'Albufera des Grau és típicament empobrida en espècies, tal i com ja s'havia vist en treballs anteriors (González & Pretus 2003). Pel que fa a l'espècie plantejada com a enregistrator geoquímic a la llacuna, *C. torosa*, compleix el requisit esperat de ser present durant tot el cicle anual a la llacuna, en un període de salinitat variable com ho han estat els tres anys estudiats (fig. 2a).

Pel que fa la dinàmica poblacional de *C. torosa*, la informació obtinguda a partir de les valves seleccionades, mostra que aquesta espècie es reproduïx en continu a s'Albufera, s'observen femelles ovades i estadis juvenils durant tot el cicle anual llevat d'un mostreig a l'estiu de 2003 (fig. 3). Tot i que *C. torosa* és considerada una espècie univoltina (Heip 1976), se n'han descrit poblacions multivoltines en d'altres sistemes, associant aquest fet a una estabilitat ambiental mancada de grans perturbacions de tipus catastròfic (Mezquita et al. 2000). És destacable la similitud en les dinàmiques del percentatge de femelles ovades i del nombre mitjà d'ous per femella (fig. 3), fet que suggereix que ambdues variables són bones indicadors de l'esforç reproductor de l'espècie a nivell poblacional. La brusca davallada de la fertilitat a l'estiu del 2003 coincideix amb un intens dèficit d'oxigen a les capes fons de la llacuna (fig. 2). És realista, doncs, relacionar la baixa fertilitat amb un estrès fisiològic associat a la hipòxia, si bé aquesta espècie és especialment tolerant als dèficits d'oxigen i a relativament altes concentracions de sulfhídric (Jahn et al. 1996; Gamenick et al. 1996). Amb les dades disponibles no podem avaluar la magnitud de la hipòxia ni la presència de sulfhídric a escala de microhàbitat, però a nivell qualitatiu és destacable que en les mostres corresponents a l'estiu de 2003 es van observar més valves d'aquesta espècie que estaven buides i amb aspectes de degradació, la qual cosa confirmaria el paper de la hipòxia sobre les poblacions de *C. torosa*.

La informació geoquímica de les valves s'ha d'extreure idealment d'individus adults per evitar canvis en el senyal (isotòpic o d'elements traça) propi de les calcificacions d'estadis juvenils (Holmes 1996). En

aquest sentit, queda clar que *C. torosa* és un enregistrator continu a la llacuna i que les futures reconstruccions paleolimnològiques basades en aquesta espècie estaran netes d'estacionalitat perquè trobem individus adults durant tot el cicle anual.

### *Qualitat del registre*

Pel que fa a la mida i el pes de les valves de *C. torosa*, els valors mitjans es mostren a la Taula 1. Com correspon a l'espècie estudiada, les valves esquerres són majors que les dretes, i els mascles són més allargats que les femelles. La geometria més alta i ampla de les valves de les femelles fa que aquestes siguin més pesades que les dels mascles. Aquest fet queda palès en els gràfics longitud-pes (fig. 4). En qualsevol cas, el pes individual de les valves, superior en general als 20 µg, és suficient per assegurar la qualitat de les tècniques analítiques actuals d'isotopia estable i elements traça a nivell de valva, sense requerir una barreja de diferents valves que reduiria considerablement el potencial interpretatiu de la geoquímica. Assumint una geometria constant en les valves de mascles i de femelles, les possibles anomalies en la relació entre longitud i pes per a cada sexe donen idea d'alteracions en la calcificació de les valves. És destacable que en les mostres estudiades la presència d'*outliers* ha estat de menor importància. Val a dir, no obstant això, que la relació longitud-pes, clarament separada per a mascles i per a femelles com a resultat de diferències de forma, ha estat força variable dins cada grup si avaluem el total de mostres (fig. 4).

### *Caràcters ecofenotípics com a indicadors paleoambientals*

Durant el període estudiat, no s'ha trobat cap individu amb nodes a les valves en les mostres corresponents a aigües de baixa salinitat, tot i que aquest caràcter fenotípic se sol utilitzar com a indicador d'oligohalinitat (van Harten 2000). De totes maneres, ni el llinard de salinitat, ni els mecanismes responsables de la presència de nodes en *C. torosa* estan encara del tot compresos (Anadón et al. 2002; Frenzel & Boomer 2005).

Per altra banda, la longitud mitjana de les valves ha mostrat un cert patró temporal durant el període estudiat (fig. 5). L'anàlisi detallada d'aquesta sèrie, efectuada sobre la valva esquerra de femelles per ser la població més representada a la base de dades, mostra una relació inversa significativa, si bé poc explicativa, amb la salinitat ( $R^2=0.28$ ,  $p<0.005$ ). És destacable que la relació entre salinitat i mida mitjana de la valva és molt més rellevant en el rang de mesohalinitat, de manera que la variança explicada puja considerablement si s'acota l'anàlisi als períodes amb salinitat entre 5 i 16 ( $R^2=0.60$ ;  $p<0.001$ , fig. 6a). Aquesta relació inversa està en concordança amb estudis anteriors en *C. torosa*, en què s'han vist canvis de mida al voltant de salinitat 9 (van Harten 1996; Boomer 2008). No obstant això, els mecanismes responsables del canvi de mida amb la salinitat encara no estan del tot clars (Frenzel i Boomer 2005), i s'ha proposat que podrien estar relacionats amb la disponibilitat d'aliment, tot i que és més plausible que estigui determinada per canvis en la regulació osmòtica de l'animal (van Harten 1975; Carbonnel 1983). De fet, malgrat que s'han descrites relacions mida-salinitat en d'altres espècies d'ostràcodes (Yin et al. 1999; van der Meer et al. 2010; Frenzel & Boomer 2005), la mida de les valves no ha estat encara utilitzada quantitativament com a indicadora paleoambiental (Boomer & Eisenhauer 2002).

Val a dir que aquesta anàlisi es basa en valors mitjans però que el potencial paleolimnològic del registre és especialment rellevant a nivell de valva individualment, ja que és la valva de cada individu la que enregistra la senyal geoquímica i la que en darrera instància és recuperada dels testimonis sedimentaris. Si ho avaluem a nivell de valva individual, la relació per a tot el rang de salinitat perd molta variança explicada ( $R^2=0.11$ ,  $p>0.001$ ), fins i tot quan l'anàlisi s'acota al rang 5-16 de salinitat ( $R^2=0.23$ ,  $p>0.001$ ; fig. 6b). Sigui com sigui, queda clar que el potencial de la mida les valves com a paleoindicador de salinitat és molt elevat, especialment tenint en compte que es tracta d'una variable de molt fàcil mesura fàcilment implementable en les rutines de processat de mostres paleolimnològiques.

## Conclusions

A s'Albufera des Grau, *Cyprideis torosa* es reproduïx i presenta individus adults durant tot l'any generant un registre continu de les condicions de la llacuna. Les valves dels individus adults tenen el pes adequat per a treballs d'analítiques geoquímiques habituals en paleolimnologia. S'ha observat una relació inversa entre la mida de la valva i la salinitat de l'aigua en el rang d'oligohalinitat, la qual cosa obre les portes a l'ús d'aquest caràcter fenotípic com paleoindicador de la salinitat de la llacuna.

## Agraïments

Aquest treball ha pogut dur-se a terme gràcies al finançament concedit per l'Institut Menorquí d'Estudis.



## **Bibliografia**

- Anadon, P., E. Gliozzi i I. Mazzini. 2002. «Paleoenvironmental Reconstruction of Marginal Marine Environments From Combined Paleocological and Geochemical Analyses on Ostracods». Dins J.A. Holmes i A.R. Chivas, eds., *Ostracoda: Applications in Quaternary Research*, 227–247. Washington: American Geophysical Union.
- Athersuch, J., D. Horne i J. Whittaker. 1989. *Marine and Brackish Water Ostracods*. Avon: The Linnean Society of London / The Estuarine and Brackish-water Sciences Association.
- Boomer, I., i G.B. Eisenhauer. 2002. «Ostracod faunas as palaeoenvironmental indicators in marginal marine environments». Dins J. Holmes i A.R. Chivas, eds., *Ostracoda: Applications in Quaternary Research*, 135–149. Washington: American Geophysical Union.
- Boomer, I. 2008. «New evidence for a size-salinity relationship in *Cyprideis torosa*». Dins D. Danielopol, M. Gross & W. Piller, eds., *Workshop «Methods in Ostracodology»*, \*\*\*pàgines. Graz: Karl-Franzens-University.
- Carbonnel, G. 1983. «Morphométrie et hypersalinité chez *Cyprideis torosa* (Jones) (*Ostracoda*, actuel) dans les salines de Santa-Pola (Alicante, Espagne)». *Sciences Geologiques Bulletin* 36: 211–219.
- Frenzel, P., i I. Boomer. 2005. «The use of ostracods from marginal marine, brackish waters as bioindicators of modern and Quaternary environmental change». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 225: 68–92.
- Gamenick, I., A. Jahn, K. Vopel i O. Giere. 1996. «Hypoxia and sulphide as structuring factors in a macrozoobenthic community on the Baltic Sea shore: colonisation studies and tolerance experiments». *Marine Ecology Progress Series* 144: 73–85.
- González, J., i J.L. Pretus. 2003. «Ostràcodes del PN de s'Albufera des Grau (Menorca)». *Butlletí Científic dels Espais Naturals Protegits de les Illes balears* 1: 69–73.
- Heip, C. 1976. «The life-cycle of *Cyprideis torosa* (Crustacea, Ostracoda)». *Oecologia* 24: 229–245.
- Holmes, J. 1996. «Trace-element and stable-isotope geochemistry of non-marine ostracod shells in Quaternary palaeoenvironmental reconstruction». *Journal of Paleolimnology* 15: 223–235.
- Holmes, J., i A. Chivas. 2002. «Ostracod shell chemistry – overview». Dins J.A. Holmes i A.R. Chivas, eds., *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*, 185–204. Geophysical Monograph, 131. Washington: American Geophysical Union.

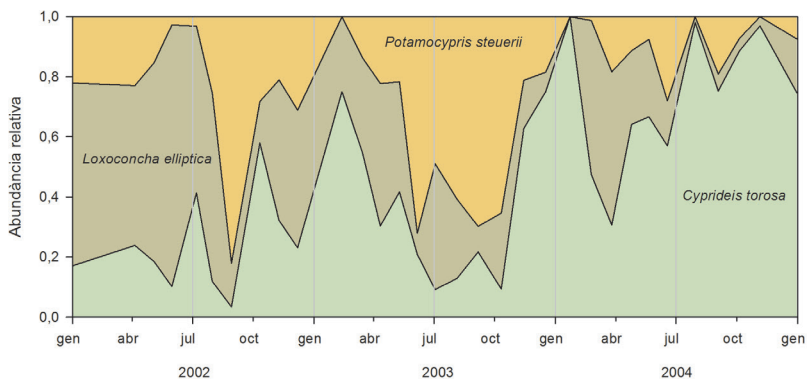
- Holmes, J. 2001. «The Ostracoda». Dins J.P. Smol, H.J.B. Birks i W.A. Last, eds., *Tracking environmental change using lake sediments. Vol 4: Zoological indicators*, 121–155. Dordrecht: Springer.
- Jahn, A., I. Gamenick i H. Theede. 1996. «Physiological adaptations of *Cyprideis torosa* (Crustacea, Ostracoda) to hydrogen sulphide». *Marine Ecology Progress Series* 142: 15–23
- Keatings, K., T. Heaton i J. Holmes. 2002. «The effects of diagenesis on the trace element and stable isotope geochemistry of non-marine ostracod valves». *Journal of Paleolimnology* 28: 245–252.
- Knoppers, B. 1994. «Aquatic primary production in coastal lagoons». Dins B. Kjerfve, ed., *Coastal Lagoon Processes*, 243–286. Amsterdam: Elsevier Science.
- Mezquita, F., V. Olmos i R. Oltra. 2000. «Population ecology of *Cyprideis torosa* (Jones, 1850) in hypersaline environment of the western Mediterranean (Santa Pola, Alacant) (Crustacea: Ostracoda)». *Ophelia* 53: 119–130.
- Obrador, B., J.L. Pretus i M. Menéndez. 2007. «Spatial distribution and biomass of aquatic rooted macrophytes and their relevance in the metabolism of a Mediterranean coastal lagoon». *Scientia Marina* 71: 57–64.
- Obrador, B. 2009a. «Ecologia de s'Albufera des Grau: què n'hem après en aquests anys?». Dins J.M. Vidal i E. Comas, eds., *Jornades sobre els 15 anys de la reserva de la biosfera de Menorca (2008: Maó)*, 159–167. Col·lecció Recerca, 17. Maó: Institut Menorquí d'Estudis.
- . 2009b. «Environmental shaping and carbon cycling in a macrophyte-dominated coastal lagoon». Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona.
- Obrador, B., i J.L. Pretus. 2010. «Spatiotemporal dynamics of submerged macrophytes in a Mediterranean coastal lagoon». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 87: 145–155.
- . 2012. «Budgets of organic and inorganic carbon in a Mediterranean coastal lagoon dominated by submerged vegetation». *Hydrobiologia* 699: 35–54.
- . 2013. «Carbon and oxygen metabolism in a densely vegetated lagoon: implications of spatial heterogeneity». *Limnetica* 32: 321–336.
- Scheffer, M., et al. 1993. «Alternative equilibria in shallow lakes». *Trends in Ecology and Evolution* 8: 275–279.
- Trobajo, R., X. Quintana i R. Moreno-Amich. 2002. «Model of alternative predominance of phytoplankton-periphyton-macrophytes in lentic waters of Mediterranean coastal wetlands». *Archiv Fur Hydrobiologie* 154 (1): 19–40.
- Van der Meer, T., D. Verschuren, E. Ito i K. Martens. 2010. «Morphometric techniques allow environmental reconstructions from low-diversity continental ostracode assemblages». *Journal of Paleolimnology* 44: 903–911.

- Van Harten, D. 1975. «Size and environmental salinity in the modern euryhaline ostracod *Cyprideis torosa* (Jones, 1850) a biometrical study». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeogeography* 17: 35-48.
- . 1996. «*Cyprideis torosa* (Ostracoda) revisited. Of salinity, nodes and shell siz». Dins M.C. Keen, ed., *Proceedings of the 2nd European Ostracodologists Meeting, Glasgow 1993*, p. 191-194. London: British Micropalaeontological Society.
- . 2000. «Variable noding in *Cyprideis torosa* (Ostracoda, Crustacea): an overview, experimental results and a model from Catastrophe Theory». *Hydrobiologia* 419: 131-139.
- Viaroli, P., et al. 2008. «Community shifts, alternative stable states, biogeochemical controls ad feedbacks in eutrophic coastal lagoons: a brief overview». *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 18: S105-S117.
- Yin, Y., W. Geiger i K. Martens. 1999. «Effects of genotype and environment on phenotypic variability in *Limnocythere inopinata* (Crustacea: Ostracoda)». *Hydrobiologia* 400: 85-114.

## Figures i taules

**Taula 1.** Mides i pesos de les valves de *C. torosa* per a mascles i femelles. VE i VD correspon a valva esquerra i valva dreta, respectivament, per a cada individu. Es mostra la mitjana i la desviació estàndard.

	Femelles	Mascles
Número de valves	VE: 362 V: 377	VE: 184 VD: 194
Longitud (µm)	VE: 944 ± 39 VD: 906 ± 37	VE: 1009 ± 36 VD: 978 ± 31
Pes (µg)	VE: 48 ± 8 VD: 42 ± 7	VE: 34 ± 5 VD: 30 ± 5



**Fig. 1.** Abundància relativa de les principals espècies d'ostràcodes vius presents en les mostres bentòniques.

El potencial paleolimnològic de les valves d'ostràcodes a s'Albufera des Grau

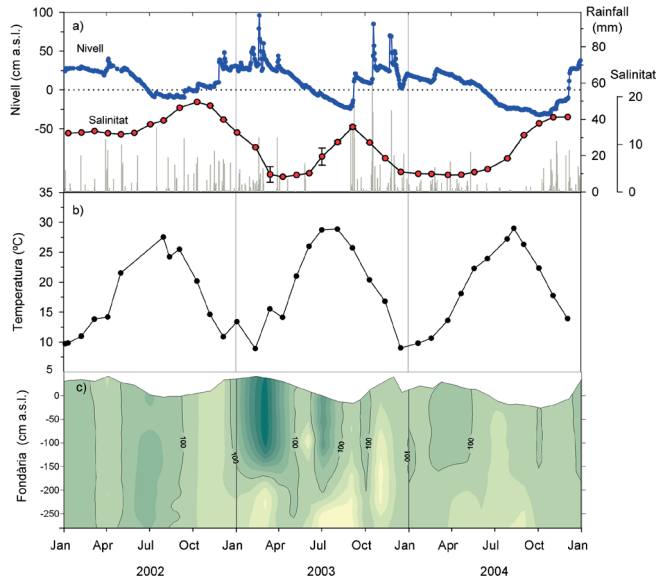


Fig. 2. Descriptors limnològics bàsics de la llacuna durant el període d'estudi. Es mostra la dinàmica del nivell de l'aigua, la salinitat, la precipitació (a), la temperatura (b) i el percentatge de saturació d'oxigen dissolt a les diferents fondàries (c).

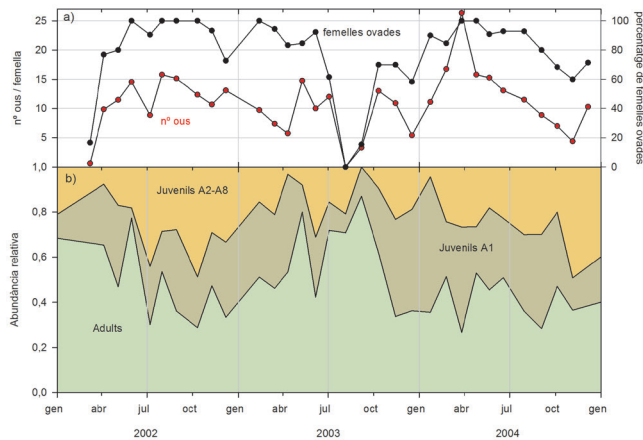


Fig. 3. Descriptors poblacionals bàsics de *C. torosa* durant el període estudiat.

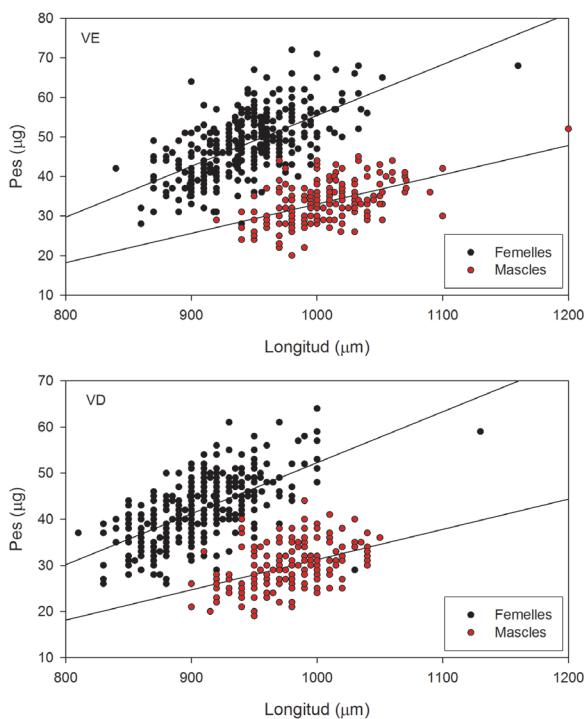


Fig. 4. Relació entre la longitud i el pes de les valves esquerra, VE, i dreta, VD, per a femelles i mascles de *C. torosa*.

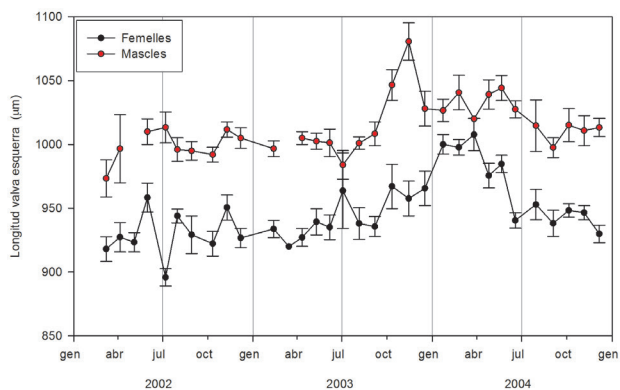
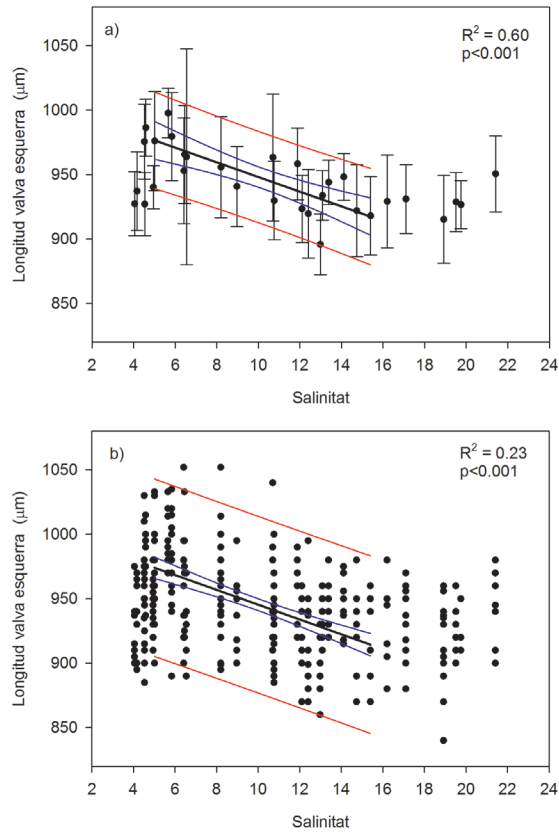


Fig. 5. Sèrie temporal de la mida dels individus adults de *C. torosa* durant el període d'estudi (mitjana  $\pm$  s.d.).

*El potencial paleolimnològic de les valves d'ostràcodes a s'Albufera des Grau*



*Fig. 6.* Relació entre mida de la valva esquerra de les femelles i salinitat de l'aigua per als valors mitjans de cada data de mostreig (a), i per a cada valva individualment (b). En ambdós casos la regressió està efectuada sobre el rang 5-16 de salinitat.